

MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E INFESTAÇÃO POR *Aedes Aegypti* NA REGIÃO SUL DO BRASIL

GLOBAL CLIMATE CHANGE AND *Aedes Aegypti* INFESTATION IN THE SOUTHERN REGION OF BRAZIL

CAMBIO CLIMÁTICOS GLOBALES E INFESTACIÓN POR *Aedes Aegypti* EN LA REGIÓN SUR DE BRASIL

RESUMO

O presente trabalho propõe estabelecer a relação entre as mudanças climáticas globais e a infestação por *Aedes aegypti* no Sul do Brasil, tendo como hipótese o aumento na temperatura média anual previstos pelas projeções do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) que representa um potencial de ampliação da cobertura territorial do mosquito, vetor da dengue, chikungunya e zika. A metodologia utilizada foi baseada na análise realizada através dos Assessment Reports (AR) publicados pelo IPCC, utilizando-se das projeções climáticas presentes nos Coupled Model Intercomparison Projects (CMIPs) e dos Shared Socio-economic Pathways (SSPs) contendo cenários previstos considerados otimistas (SSP1) e pessimistas (SSP5), e posteriormente foi realizado um levantamento bibliográfico acerca da temática da dengue, enfatizando os seus vetores e sua relação com as condições climáticas ótimas para sua reprodução, tais como a temperatura, umidade e precipitação. Os resultados encontrados apontam para o potencial de ampliação da cobertura territorial do *Aedes aegypti* a partir da ampliação de territórios e períodos sob condições ótimas de temperatura tanto nas projeções consideradas otimistas quanto nas pessimistas, representando um cenário preocupante para o futuro. Por fim, considera-se que, embora o mosquito seja um vetor de comportamento sinantrópico, as projeções indicam um aumento na sua capacidade de reprodução e de infestação de novas áreas, podendo indicar um risco ao endemismo e ao surgimento de novas epidemias de dengue em regiões ainda não atingidas, além da intensificação destes em regiões endêmicas a partir do aumento dos períodos de tempo sob condição climática ótima à reprodução do vetor.

Palavras-chave: Dengue; Temperatura; Vetor; Cobertura territorial; Condições climáticas.

ABSTRACT

This article proposes to establish the relationship between global climate change and infestation by *Aedes aegypti* in the South of Brazil, with the hypothesis that the increase in the annual average temperature predicted by the projections of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) represents a potential expansion of the territorial coverage of this mosquito, which is the vector for dengue, chikungunya, and zika. The methodology used was based on the analysis carried out through the Assessment Reports (AR) published by the IPCC, using the climatic projections present in the Coupled Model Intercomparison Projects (CMIPs) and the Shared Socio-economic Pathways (SSPs) containing optimistic (SSP1) and pessimistic (SSP5) predicted scenarios, and subsequently, a bibliographic survey was carried out on the topic of dengue, emphasizing its vectors and its relationship with the optimal climatic conditions for its reproduction, such as temperature, humidity, and precipitation. The results point to the potential expansion of the territorial coverage of *Aedes aegypti* from the expansion of territories and periods under optimal temperature conditions in both the optimistic and pessimistic projections, representing a concerning backdrop for the future. Finally, although the mosquito is a vector of synanthropic behavior, the projections indicate an increase in its capacity for reproduction and infestation of new areas, which may indicate a risk to endemism and the emergence of new dengue epidemics in regions not yet affected, as well as their intensification in endemic

 Felipe José Soek^a
 Fernanda Evelyn Ferreira^a
 Martina Victoria Klein^a
 Natália Chudzik Bauer^a
 Paulo Sergio Caikoski^a
 Wilson Flávio Feltrim
Roseghini^a
 Francisco Mendonça^a

^a Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Paraná, Brasil.

DOI: 10.12957/geouerj.2023.74550

Correspondência: felipesoek12@gmail.com;
fernanda.evelyn@ufpr.br;
martinavklein@hotmail.com;
cbauernatalia@gmail.com;
paulosergioicaikoski@gmail.com;
feltrim@ufpr.br; chico@ufpr.br

Recebido em: 30 mar. 2023

Revisado em: 29 abr. 2023

Aceito em: 06 jun. 2023



regions due to the increase in periods of time under optimal climatic conditions for the vector's reproduction.

Keywords: Dengue; Temperature; Vector; Territorial coverage; Climate Conditions;

RESUMEN

El presente trabajo propone establecer la relación entre el cambio climático global y la infestación del *Aedes aegypti* en el Sur de Brasil, teniendo como hipótesis el aumento en la temperatura media anual prevista por las proyecciones del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), lo cual representa un potencial de ampliación en la cobertura territorial del mosquito, vector del dengue, chikungunya y zika. La metodología utilizada se basó en el análisis realizado a través de los Informes de Evaluación (AR) publicados por el IPCC, utilizando las proyecciones climáticas presentes en los Proyectos de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIPs) y los Escenarios Compartidos Socioeconómicos (SSPs), que contienen escenarios previstos considerados optimistas (SSP1) y pesimistas (SSP5). Posteriormente, se realizó una revisión bibliográfica sobre el tema del dengue, enfatizando sus vectores y su relación con las condiciones climáticas óptimas para su reproducción, como la temperatura, la humedad y la precipitación. Los resultados encontrados apuntan al potencial de ampliación en la cobertura territorial del *Aedes aegypti*, a medida que se amplían los territorios y períodos bajo condiciones óptimas de temperatura, tanto en las proyecciones consideradas optimistas como en las pesimistas, lo cual representa un escenario preocupante para el futuro. Por último, se considera que, aunque el mosquito es un vector de comportamiento sinantrópico, las proyecciones indican un aumento en su capacidad de reproducción y de infestación de nuevas áreas, lo que podría indicar un riesgo para el endemismo y la aparición de nuevas epidemias de dengue en regiones aún no afectadas, además de la intensificación de estas en regiones endémicas debido al aumento de los períodos de tiempo bajo condiciones climáticas óptimas para la reproducción del vector.

Palabras-clave: Dengue; Temperatura; Vector; Cobertura Territorial; Condiciones Climáticas.



INTRODUÇÃO

No contexto brasileiro a dengue é uma arbovirose transmitida majoritariamente pelo mosquito *Aedes aegypti* (MENDONÇA, 2020). A mesma doença está presente em grande parte do mundo, mas prevalece principalmente em localidades tropicais e subtropicais, onde mosquitos vetores (*Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*) capazes de transmitir o vírus são mais presentes e ativos. No Brasil, as primeiras aparições de casos clínicos da doença na literatura científica datam de 1916, na cidade de São Paulo, porém a primeira epidemia clínica e confirmada de forma laboratorial no país data de 1981 e 1982, em Roraima (BEZERRA et al. 2021). Com a globalização e a nova dinâmica mundial, o vírus e seus vetores foram transportados a outros países cujas condições ambientais são desfavoráveis à sua proliferação, como a Rússia e a Holanda. Nestes casos, a presença da doença é associada a fatores como crescimento urbano, ilhas de calor (ROSEGHINI, 2013) e intenso tráfego humano. Nota-se que principalmente o *Aedes albopictus* está expandindo sua adaptação/sobrevivência cada vez mais em direção aos pólos, enquanto o *Aedes aegypti* se concentra mais em áreas tropicais e subtropicais (KRISTIE, et. al. 2016).

Entender o comportamento da circulação viral da dengue perpassa pela compreensão da ecologia do vírus e do vetor, simultaneamente (LUNARDON, 2017; MENDONÇA, 2020). É necessário citar que o mosquito *Aedes aegypti* é um mosquito de comportamento sinantrópico e, portanto, a compreensão de seus condicionantes ambientais naturais só possibilita compreender o seu comportamento enquanto vetor de forma fragmentada. Entretanto, diversos trabalhos relacionam limites de estresse climático ao vetor, apontando para a possibilidade de monitoramento da disseminação da doença por meio do acompanhamento de dados meteorológicos diversos, dentre os quais o de maior influência é a temperatura (MENDONÇA, 2020; OLIVEIRA, ROSEGHINI, 2020).

O clima é um elemento fundamental no entendimento da saúde humana, sendo responsável por limitar ou ampliar o alcance de determinadas doenças infecciosas ao redor do mundo, enquanto o tempo meteorológico seria responsável pela temporalidade e intensidade dos eventos (EPSTEIN, 2001,). Como demonstraram Epstein et al. (1998), as mudanças climáticas estão diretamente ligadas à expansão territorial da difusão de doenças dependentes de transmissão por vetores, tal como a dengue. A variabilidade climática pode estar diretamente associada à transmissão de doenças, influenciando a viabilidade dos patógenos e, indiretamente, alterando o comportamento do vetor e/ou do ser humano (SOUZA et al. 2021). Entretanto, deve-se citar que as mudanças climáticas podem influenciar tanto positiva quanto negativamente no comportamento da dengue e sua distribuição, uma vez que em muitos locais pode alterar, aumentar ou diminuir o período de infecção, facilitar o desenvolvimento e amadurecimento do mosquito, entre outros. Atribui-se a isto a dificuldade de modelar e monitorar a doença e o mosquito num contexto climático instável (VIANA et al., 2013).



ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

O IPCC publica periodicamente relatórios de avaliação que levam em consideração modelos feitos ao redor do mundo acerca das mudanças climáticas, chamados de Assessment Reports. Para a elaboração dos relatórios, é levado em conta o CMIP do ciclo de avaliação correspondente que faz a comparação entre os diferentes modelos feitos por diversos grupos de estudos internacionais. Os CMIPs se amparam em cinco SSPs que projetam cenários socioeconômicos diversos, levando em consideração fatores desde a implementação de planos de mitigação das mudanças climáticas intensa já elaborados até o aumento progressivo da emissão de gases estufa (CANADÁ, 2022). Para isso, os principais fatores considerados nos SSPs são população, PIB e urbanização e de que forma eles impactam a atmosfera e a vida em sociedade (IPCC, 2021). Os SSPs escolhidos foram o 1 e o 5, representando respectivamente os cenários otimista e pessimista, buscando retratar as grandes diferenças entre os dois extremos (CANADÁ, 2022).

Os CMIPs levam esse nome por serem compostos por diversas formas de modelagem feitas ao redor do globo, permitindo a sua intercomparação. Os modelos escolhidos foram elaborados pela Rússia (INM-CM4-8) e pelo Canadá (CanESM5): o primeiro tem a menor sensibilidade climática entre os modelos desse CMIP e o segundo tem a maior. A sensibilidade climática, chamada pelo IPCC de Equilibrium Climate Sensitivity, é definida como: *“The equilibrium (steady state) change in the globally-averaged near-surface temperature following a doubling of the atmospheric carbon dioxide (CO₂) concentration from pre-industrial conditions.”* (IPCC, 2021).

Dentro desses modelos foram selecionadas as variáveis bioclimáticas de maior impacto para a reprodução do *Aedes Aegypti*, sendo elas temperatura média anual, pluviosidade média anual, temperatura máxima do mês mais quente e temperatura mínima do mês mais frio. Para fins de comparação, junto a essas informações foram inseridos os dados históricos para cada variável com o objetivo de tornar as mudanças mais visíveis. Em relação às projeções, foi selecionado o período de 2081 a 2100 por ser o período mais distante do atual representado no CMIP6 e, consequentemente, mais representativo das mudanças previstas.

Por fim, a análise apresentada em relação aos cenários abordados e citados previamente valeu-se de levantamento bibliográfico acerca da temática da Dengue e da dinâmica de seus vetores, sobretudo *Aedes Aegypti* e *Aedes Albopictus*, em relação com variáveis climáticas tais como temperatura, precipitação e umidade. Através da revisão bibliográfica realizada foi possível observar uma relação entre o comportamento e dinâmica do vetor com as variações climáticas, indicando possível ação limitadora e/ou condicionante da capacidade vetorial do mosquito.



DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O *Aedes aegypti* é um inseto de desenvolvimento holometábolo, o que significa que seu desenvolvimento consiste num ciclo de vida separado entre: ovo, larva, pupa e adulto (YANG et. al, 2009). Esta consideração é essencial, pois as diferentes fases de desenvolvimento do mosquito têm demonstrado diferentes capacidades de resiliência aos fatores climáticos desfavoráveis ao seu desenvolvimento. Testes laboratoriais realizados por YANG et. al (2009) demonstram, por exemplo, que a população de mosquitos *Aedes aegypti* não se desenvolve plenamente sob condições de temperaturas menores que 13°C ou maiores que 36°C, demonstrando uma limitação climática nestas temperaturas à reprodução do vetor e, portanto, da transmissão da doença. Entretanto, estes intervalos variam entre as diferentes fases de desenvolvimento: (i) o mosquito adulto demonstra condições de sobrevivência entre 15-30°C; (ii) as fases aquáticas (larva e pupa) demonstram condições de sobrevivência entre 15-35°C; (iii) aos ovos, nenhuma temperatura ideal à sobrevivência foi identificada, entretanto, é possível observar que a oviposição ocorre em maior número entre 15-30°C, e deixa de ocorrer em todos os registros aos 10°C, coincidindo com a faixa de temperatura ideal à sobrevivência das fêmeas adultas (idem, 2009). Souza et al. (2021) apontaram que o risco de dengue parece crescer até a faixa dos 26°C, sendo que a faixa ótima de temperatura para o mosquito estaria entre 22°C e 26°C. Simultaneamente, YANG et. al. (2009) demonstra que a condição ótima de temperatura para transmissão da dengue ocorre na faixa das temperaturas entre 27-30°C, indicando que nesta faixa a alimentação por sangue por parte do vetor tende a ser mais frequente e, portanto, a transmissão é intensificada. Estas considerações nos permitem compreender melhor a presença do vetor em regiões de clima tropical e o comportamento deste em regiões de clima subtropical e temperado, onde o vetor encontrará condições ótimas para reprodução durante estações quentes e úmidas e, inversamente, condições inaptas à reprodução em estações frias e secas (YANG et. al, 2009; FERREIRA, et. al., 2017; OLIVEIRA, ROSEGHINI, 2020).

Os efeitos relacionados à pluviosidade são menos conclusivos devido à condição sinantrópica do vetor, que permite a sua adaptação ao ambiente urbano onde – mesmo durante estações secas – poderá encontrar potenciais criadouros artificiais em proximidade aos estabelecimentos antrópicos. Nesse sentido, é possível indicar que há um decréscimo populacional em condições de seca, mas não há extinção do vetor (SILVA, et. al., 2018). Isto se dá devido à plasticidade do vetor, que têm a possibilidade de depositar seus ovos nas paredes do criadouro, onde os ovos podem permanecer até que a estação chuvosa retorne ou que estes sejam submersos artificialmente (ABREU, et. al., 2015). Neste caso, a estratégia de deposição de ovos diretamente na água parece ocorrer em função de prevenir a predação dos ovos por outros insetos, tal como formigas e baratas (ABREU, et. al., 2015).



Araújo et al. (2019) demonstram, por meio da correlação de Pearson, que a dengue pode estar associada às variáveis meteorológicas de precipitação (53,4%) e umidade relativa do ar (58,5%), sendo esse um possível indicativo de que os verões chuvosos e úmidos seriam próprios à proliferação do vetor da dengue. Degallier et al. (2010) apontaram que a umidade relativa elevada poderia ser favorável durante as fases iniciais de desenvolvimento e se tornar prejudicial no decorrer da vida do vetor. Entretanto, não há evidências seguras de que a umidade pode estar associada enquanto um dado de previsibilidade da incidência do vetor e da transmissão de dengue, apesar de estar diretamente associada com a sobrevivência e prevalência do mosquito, podendo aumentar o seu tempo de vida e, portanto, a quantidade de tempo que o vetor estará em circulação dentre a população humana (FERREIRA et. al., 2017), o que pode, em último caso, elevar a capacidade vetorial do mosquito *Aedes* (RIZZI, et. al., 2017). Um fator relevante é que o vírus da dengue também afeta seu vetor, podendo diminuir sua capacidade vetorial, sua capacidade reprodutiva e a própria sobrevivência do mosquito, fatores essenciais que determinam a sua capacidade de transmissão enquanto vetor (LAMBRECHTS et. al. 2012).

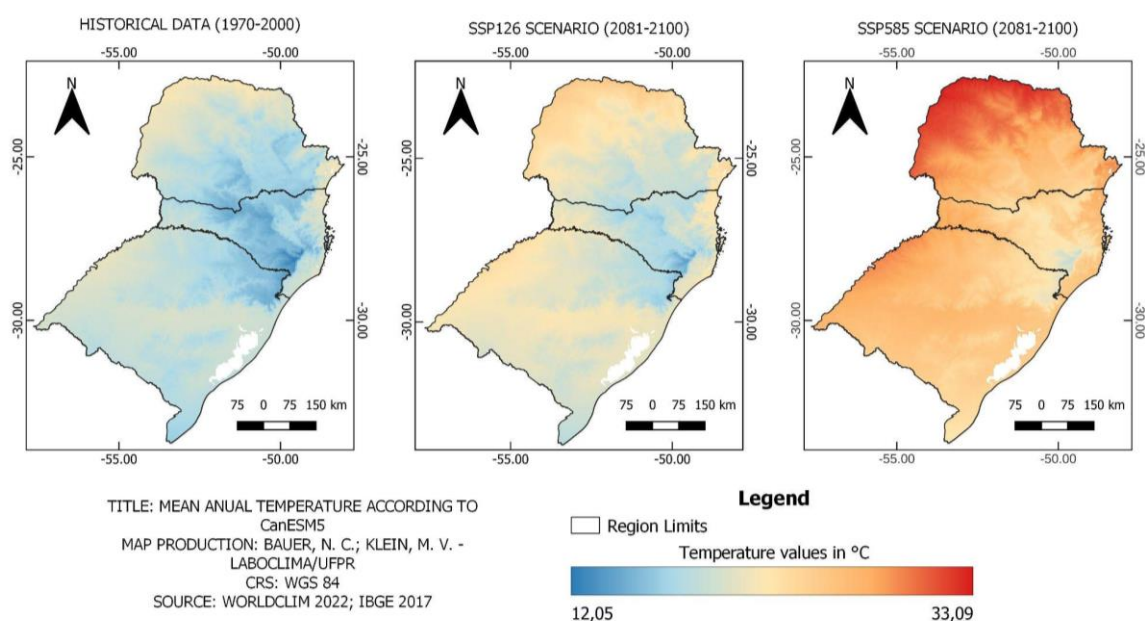
Para além dos critérios apresentados, é importante considerar os fatores urbanos e antrópicos. As cidades são conhecidas por estarem constituídas de dinâmicas climáticas específicas, denominadas de clima urbano, estas dinâmicas podem afetar os condicionantes de reprodução do mosquito ao desenvolver temperaturas propícias em regiões microclimáticas que não apresentariam condições favoráveis sob outros aspectos (LUNARDON, 2017; FERREIRA, et. al, 2017; RIZZI, et. al. 2017). Nos centros urbanos, existem também outras variáveis de importância: a presença de criadouros a partir da existência de lixo acumulado, das condições de saneamento, etc. dentre as quais a existência de lixo no logradouro depositado ou descartado de maneira inadequada pode representar um dos maiores contribuidores à reprodução do vetor em meio urbano (LUNARDON, 2017; RIZZI, et. al. 2017; ALMEIDA, et. al., 2020). Para além disso, destaca-se a importância do grande conjunto populacional habitante de cidades e, também dos deslocamentos populacionais através dos quais o vetor pode encontrar condições favoráveis a se dispersar para locais nos quais o vírus se encontrava ausente ou, onde a reprodução do vetor se encontra limitada por meio do clima (BARCELLOS; LOWE, 2014). Pontuadas estas questões, é possível afirmarmos que a urbanização, realizada de maneira descomprometida com os aspectos físico-ambientais, é talvez um dos fatores mais importantes no que tange à suscetibilidade das populações à infecção de doenças e, em nosso caso, à reprodutibilidade dos vetores da dengue e da sua circulação (ALMEIDA, et. al., 2020).

Para uma análise integrada da região Sul do Brasil e sua mudança na dinâmica espacial do vetor com as mudanças climáticas, foi feita a observação de mapas através de dados do CMIP6 que traz diversas informações relevantes.

Ao ser analisado o período histórico escolhido, os cenários otimistas (SSP1) e pessimista (SSP5), tanto no modelo CanESM5 (Figuras 1, 3, 5 e 7) quanto no modelo INM-CM4-8 (Figuras 2, 4, 6 e 8), projetam alterações nas variáveis bioclimáticas analisadas. Para fins de referência, foram extraídos dos mapas dados das três capitais do Sul do Brasil.

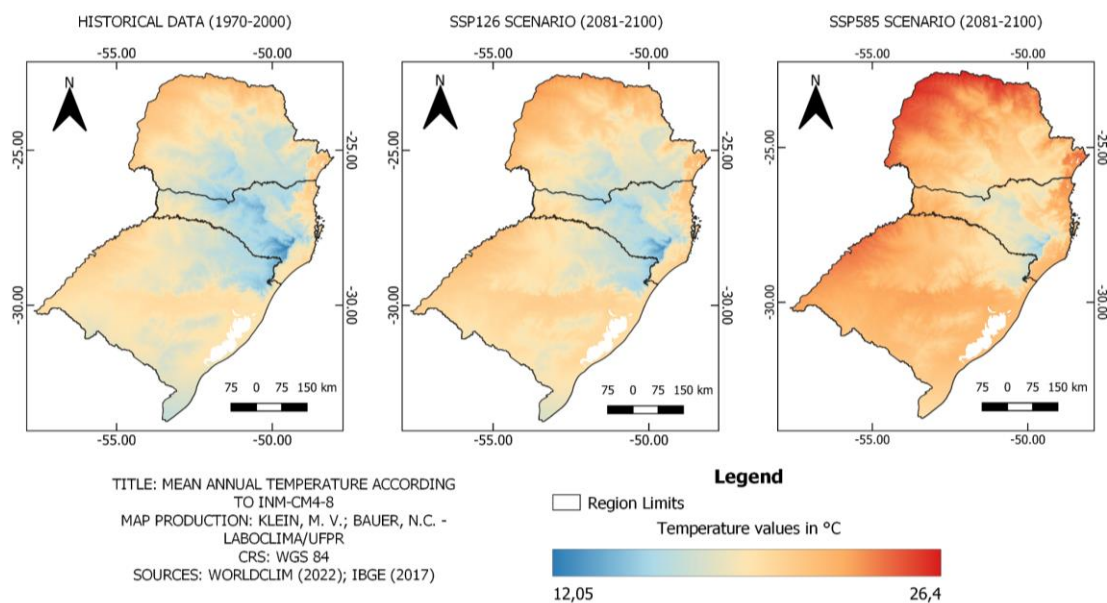
A Tabela 1 representa a diferença da temperatura média anual e a Tabela 2 representa a precipitação média anual, sendo que ambas trazem os dados históricos e o SSP1 (otimista) e o SSP5 (pessimista) para o período de 2081-2100.

Figura 1. Mapas de temperatura média anual para o período 2081-2100 no modelo CanESM5



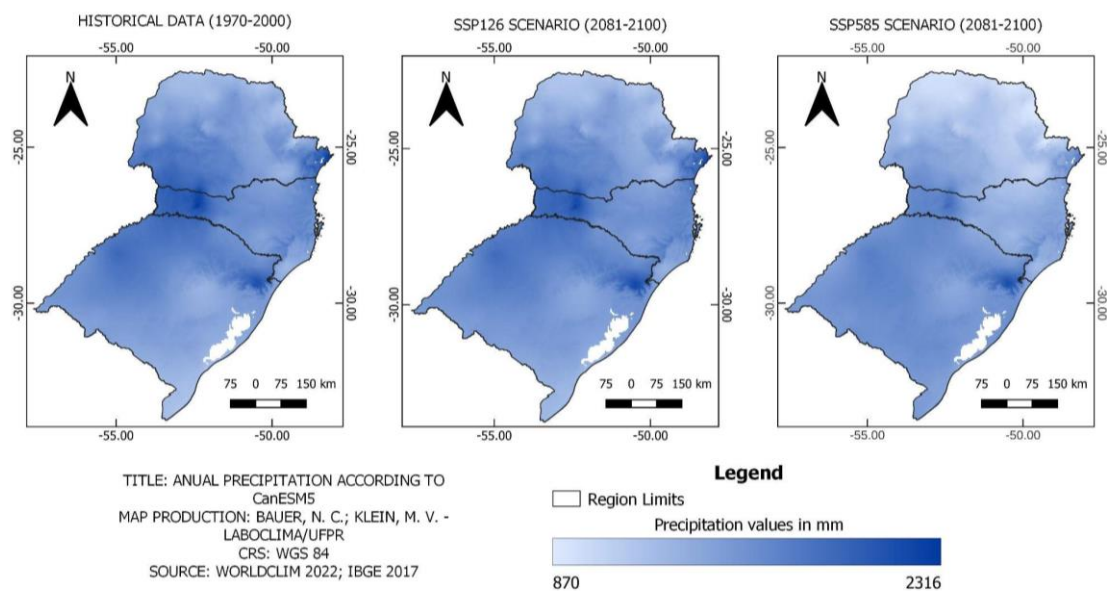
Fonte: BAUER, N. C; KLEIN, M. V.

Figura 2. Mapas de temperatura média anual para o período 2081-2100 no modelo INM-CM4-8



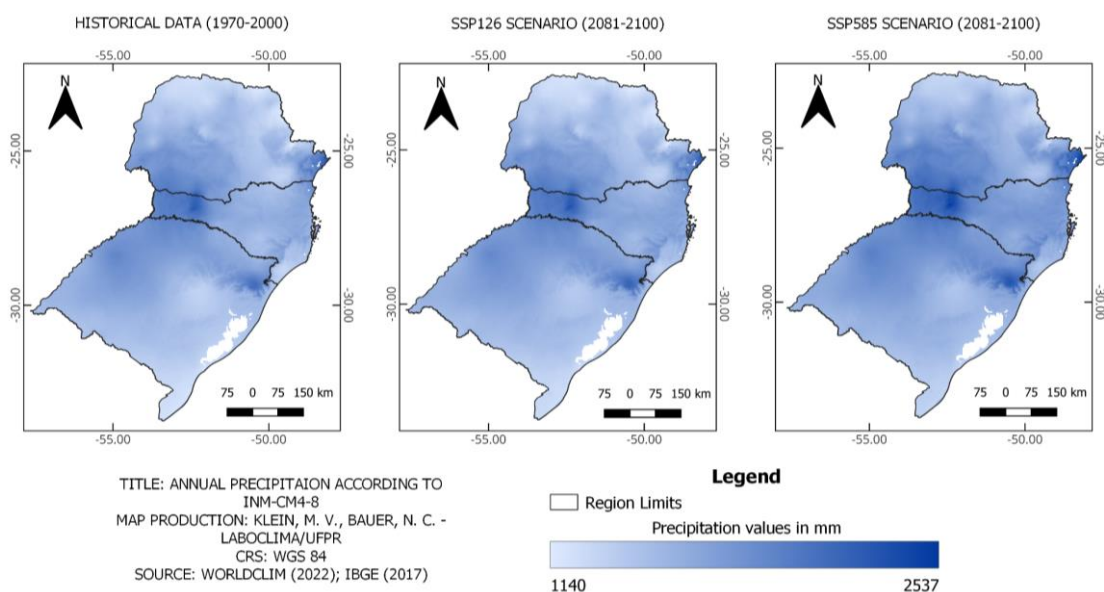
Fonte: KLEIN, M. V.; BAUER, N. C.

Figura 3. Mapas de pluviosidade média anual para o período 2081-2100 no modelo CanESM5



Fonte: BAUER, N. C.; KLEIN, M. V.

Figura 4. Mapas de pluviosidade média anual para o período 2081-2100 no modelo INM-CM4-8



Fonte: KLEIN, M. V.; BAUER, N. C.

Tabela 1. Dados históricos e projeção da temperatura média anual em cada modelo (em °C)

MODELO	CURITIBA		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	18	20,1	25,7
INM-CM4-8	18	18,8	20,8
	FLORIANÓPOLIS		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	20	21,7	25,9
INM-CM4-8	20	20,7	22,5
	PORTO ALEGRE		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	19,9	21,7	26
INM-CM4-8	19,9	20,6	22,6

Fonte: BAUER, N. C.; KLEIN, M. V. (2022)



Tabela 2. Dados históricos e projeção da precipitação média anual em :cada modelo (mm)

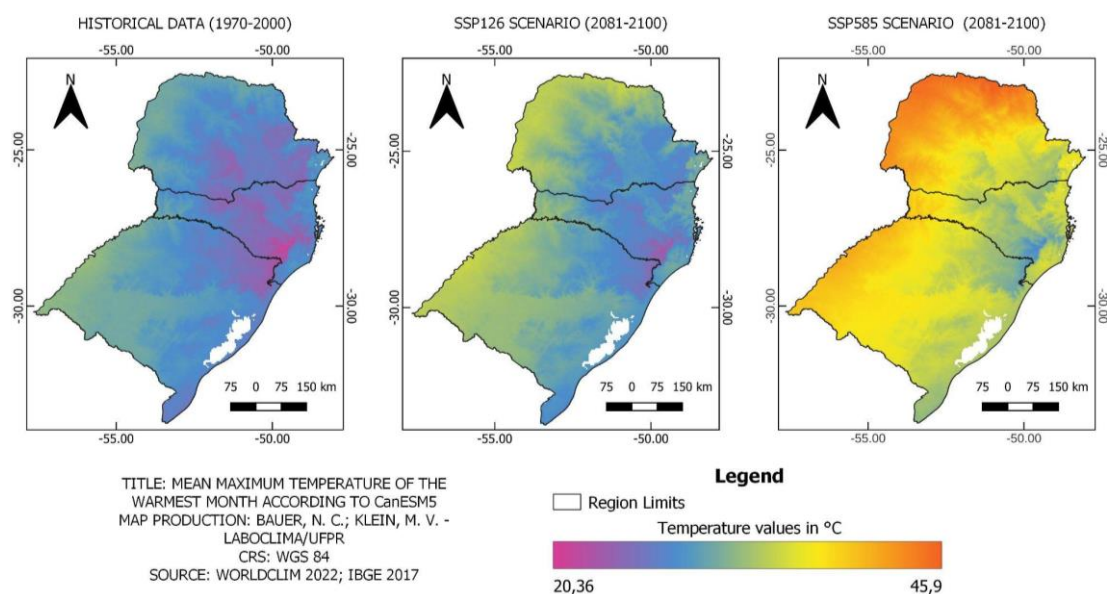
MODELO	CURITIBA		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	1574	1535	1243
INM-CM4-8	1574	1574	1713
	FLORIANÓPOLIS		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	1552	1583	1434
INM-CM4-8	1552	1585	1665
	PORTO ALEGRE		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	1508	1571	1593
INM-CM4-8	1508	1554	1615

Fonte: BAUER, N. C.; KLEIN, M. V. (2022)

Ambos os modelos trazem aumento na temperatura média anual. Entretanto, a pluviosidade de cada modelo varia, o que torna importante destacar que essa variável não indica a distribuição das chuvas ao longo do ano, sendo possível que haja momentos de altas milimétragens de chuvas concentradas em curto espaço de tempo, características de eventos hidrometeorológicos extremos.

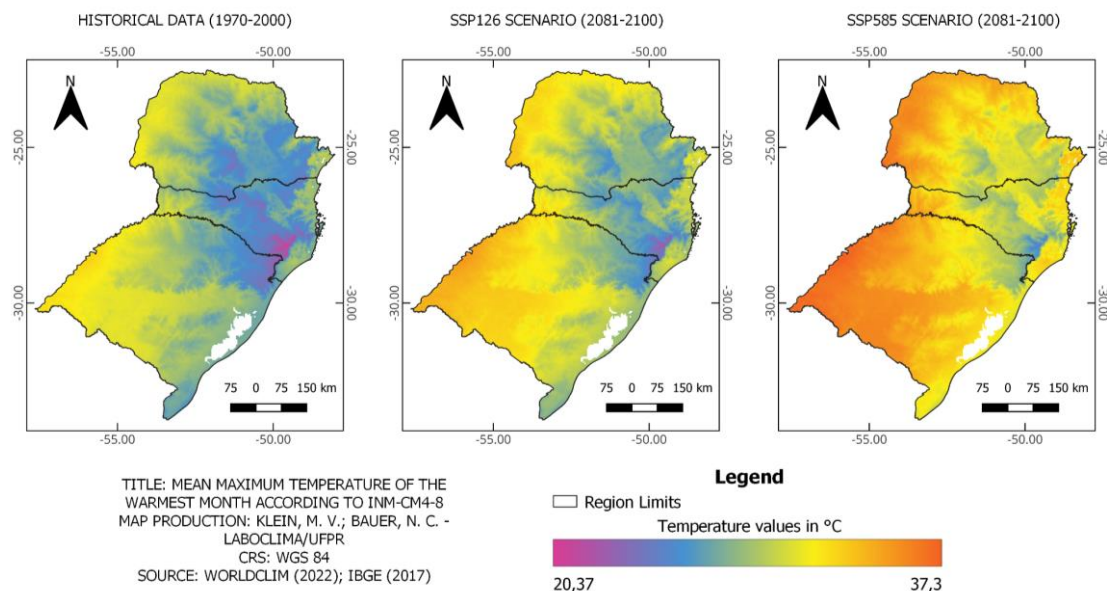
A Tabela 3 indica a temperatura máxima do mês mais quente e é possível perceber aumentos significativos entre a média histórica e as projeções, mesmo no cenário otimista. O maior aumento previsto é no SSP5 do modelo CanESM5 que traz um aumento de 8,1°C a em relação à média histórica para a cidade de Curitiba.

Figura 5. Mapas de temperatura média do mês mais quente para o período 2081-2100 no modelo CanESM5



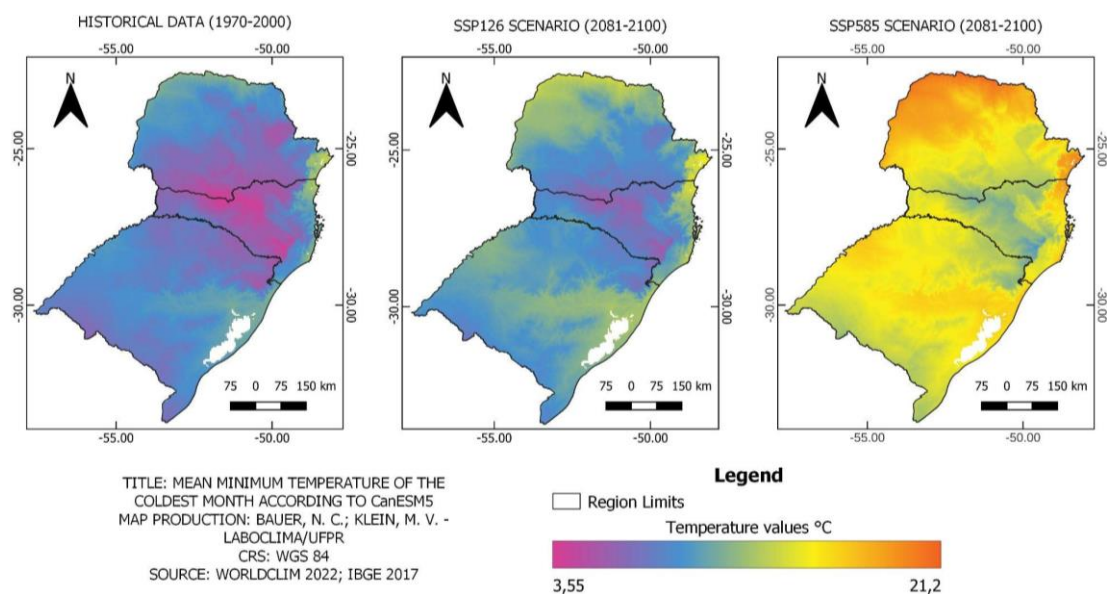
Fonte: BAUER, N. C.; KLEIN, M. V.

Figura 6. Mapas de temperatura média do mês mais quente para o período 2081-2100 no modelo INM-CM4-8



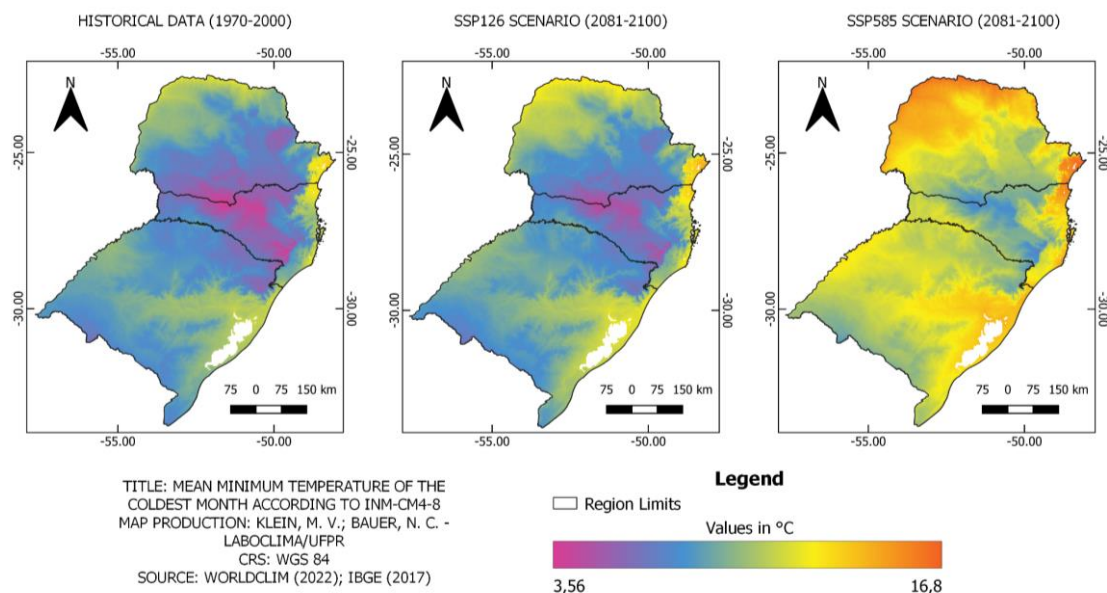
Fonte: KLEIN, M. V.; BAUER, N. C.

Figura 7. Mapas de temperatura mínima do mês mais frio para o período 2081-2100 no modelo CanESM5



Fonte: BAUER, N. C.; KLEIN, M. V.

Figura 8. Mapas de temperatura mínima do mês mais frio para o período 2081-2100 no modelo INM-CM4-8



Fonte: KLEIN, M. V.; BAUER, N. C.



Tabela 3. Dados históricos e projeção da temperatura média máxima do mês mais quente em cada modelo (°C)

MODELO	CURITIBA		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	26,8	29,1	34,9
INM-CM4-8	26,8	28,3	30,8
	FLORIANÓPOLIS		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	28	29,7	34,4
INM-CM4-8	28	29,1	31,5
	PORTO ALEGRE		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	29,2	31	35,8
INM-CM4-8	29,2	30,8	33,4

Fonte: BAUER, N. C.; KLEIN, M. V. (2022)

Tabela 4. Dados históricos e projeção da temperatura média mínima do mês mais frio em cada modelo (°C)

MODELO	CURITIBA		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	8,3	10,1	15
INM-CM4-8	8,3	9	11,7
	FLORIANÓPOLIS		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	11,5	12,9	16,7
INM-CM4-8	11,5	12,3	14,1
	PORTO ALEGRE		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5



Tabela 4. Dados históricos e projeção da temperatura média mínima do mês mais frio em cada modelo (°C)

MODELO	CURITIBA		
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	8,3	10,1	15
	HISTÓRICO	SSP1	SSP5
CanESM5	10,9	12,5	16,7
INM-CM4-8	10,9	11,7	14

Fonte: BAUER, N. C.; KLEIN, M. V. (2022)

Estas mudanças impactam diretamente na dinâmica vetorial da Dengue, visto que indicam a ocorrência de temperaturas médias que passam a apresentar suscetibilidade à ocorrência do ciclo de vida do *Aedes Aegypti* durante meses frios. Mora et. al (2022), demonstram como mudanças na temperatura podem decorrer no aumento da aptidão dos vetores à reprodução, levando à um aumento no comprimento das estações de maior exposição ao vetor através do aumento do seu desenvolvimento populacional.

Apesar de serem previsões com alta confiabilidade, é importante destacar que elas podem apresentar erros. Entretanto, esses modelos foram testados usando como referência o passado e os eventos subsequentes que realmente vieram a ocorrer. Mesmo que os modelos não tenham total confiabilidade, as previsões são alarmantes e a realidade tende a variar pouco em relação a elas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, consideramos que, apesar do vetor da Dengue ser um inseto de comportamento sinantrópico, os cenários previstos através das projeções publicadas pelo IPCC demonstram uma alta suscetibilidade a influenciar diretamente na ampliação da cobertura territorial do mosquito, ao ampliar os períodos em que as cidades abordadas se encontram dentro do limite ótimo de temperatura para reprodução do vetor. Estas mudanças podem indicar a capacidade do vetor de tornar-se endêmico em novas regiões, aumentando significativamente a suscetibilidade à transmissão do patógeno a partir do desenvolvimento populacional do mosquito e dos períodos ampliados de exposição da população humana, além de ampliar o período de exposição de regiões atualmente endêmicas, podendo gerar maiores crises de saúde pública.



A presença de índices de infestação elevados do vetor em regiões previamente não-endêmicas tem o potencial de gerar emergências em saúde pública, sobretudo ao elevar a exposição entre o patógeno e populações suscetíveis à infecção.

Em relação à dinâmica vetorial, é importante notarmos que as mudanças climáticas indicam uma tendência ao aumento da frequência de ocorrência de eventos extremos tais como secas e inundações, podendo fortalecer a presença de focos artificiais de oviposição - através do armazenamento artificial de água - e de focos naturais - a partir da remanescência de poças de água.

Neste contexto de mudanças e da expansão de cobertura territorial por meio do vetor transmissor da dengue, destaca-se a importância do monitoramento do vetor para a prevenção de surtos de infecção da doença. É essencial notar que mesmo nos melhores cenários projetados pelo IPCC a doença ainda encontrará melhores condições para sua proliferação do que as atuais e, portanto, a atenção deve ser voltada ao monitoramento de risco e dos índices populacionais do vetor, buscando prevenir a ocorrência de surtos de infecção e de infestação do mosquito. Para além disso, destaca-se também a importância da condução de pesquisas futuras em relação à influência das mudanças climáticas no comportamento do vetor, sob objetivo de compreender mais precisamente de que formas estas influenciam na sua capacidade vetorial e que medidas, sobretudo de políticas públicas, podem ser tomadas a fim de prevenir a circulação da doença.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. V. S.; MORAIS, M. M.; RIBEIRO, S. P.; EIRAS, A. E. Influence of breeding site availability on the oviposition behavior of *Aedes aegypti*. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, v. 110, n. 5, p. 669-676, ago. 2015.
- ALMEIDA, L. S.; COTA, A. L. S.; RODRIGUES, D. F. Saneamento, arboviroses e determinantes ambientais: impactos na saúde urbana. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 10, p. 3857-3868, out. 2020.
- ANDRIGHETTI, M. T. M.; WANDERLEY, D. M. V. Assessing the effects of temperature on the population of *Aedes aegypti*, the vector of dengue. **Epidemiol. Infect.**, v. 137, n. 8, p. 1188-1202, ago. 2009.
- ARAÚJO, R. A. F.; UCHÔA, N. M.; ALVES, J. M. B. Influência de variáveis meteorológicas na prevalência das doenças transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti*. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, 439-447, 2019.
- BARCELOS, C.; LOWE, R. Expansion of the dengue transmission area in Brazil: the role of climate and cities. **Tropical Medicine and International Health**, v. 19, n. 2, p. 159-168, fev. 2014.
- BEZERRA, J. M. T.; SOUSA, S. M.; TAUIL P. L.; CARNEIRO M.; BARBOSA D. S. Entry of dengue virus serotypes and their geographic distribution in Brazilian federative units: a systematic review. **Rev. bras. epidemiol.**, n. 24, p. 1-18, 2021.
- CHEN, D. et al. Framing, Context, and Methods. In: MASSON-DELMOTTE, V. et al. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge e New York: Cambridge University Press, 2021. cap. 1, p. 147-286. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter01.pdf. Acesso em: 05 ago. 2022.
- CMIP6 and Shared Socio-economic Pathways overview. **Government of Canada**. Climate change. 2022. Disponível em: <https://climate-scenarios.canada.ca/?page=cmip6-overview-notes>. Acesso em: 05 ago. 2022.
- DEGALLIER, N.; SERVAIN, J.; HANNART, A.; DURAND, B.; NONATO, S. R.; RIBEIRO, Z.M. Impactos climáticos sobre a transmissão da dengue no Nordeste do Brasil. In: SERVAIN, J.; CAMPOS, J.N.B.; MARTINS, E.S.P.R.; REIS, D.S. (Orgs.). **Clima do Atlântico Tropical e impactos sobre o Nordeste (CATIN)**. Fortaleza: FUNCEME, 2010.



- EPSTEIN, P. R. Climate change and emerging infectious diseases. **Microbes and Infection**, n. 3, p. 747-754, 2001.
- EPSTEIN, P. R.; DIAZ, H. F.; ELIAS S.; GRABHERR, G.; GRAHAM, N. E.; MARTENS, W. J. M.; THOMPSON, E. M.; SUSSKIND J. Biological and Physical signs of Climate Change: Focus on Mosquito-borne Diseases. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 3, p. 409-417, mar. 1998.
- HAMMERSTEIN, H. V.; KNUDSON, T. A.; SETTER, R. O.; SMITH, C. Z.; WEBSTER, K. M.; PATZ, J. A.; FRANKLIN, E. C. Over half of known human pathogenic diseases can be aggravated by climate change. **Nature Climate Change**, v. 12, p. 869-875, ago. 2022.
- KRISTIE, L. E.; NEALON, J. Dengue in a changing climate. **Environmental Research**, n. 151, p. 115-123, 2016.
- LAMBRECHTS, L.; FAILLOUX, A. B. Vector biology prospects in dengue research. **Mem. Inst. Oswaldo Cruz**, v. 107, n. 8, p. 1080-1082, dez. 2012.
- LUNARDON, K. A. F. Aplicação da análise multicritério para espacialização de condicionantes de focos de aedes aegypti em Curitiba/PR. **Hygeia**, v. 13, n. 26, p. 87-97, dez. 2017.
- MENDONÇA, F. (Org.) **A dengue no Brasil**. Curitiba/PR: Editora CRV, 2020.
- MORA, C.; MCKENZIE, T.; GAW, I. M.; DEAN, J. M.; YANG, H. M.; MACORIS M. L. G.; GALVANI, K. C.; FERREIRA, D. A. C.; DEGENER, C. M.; TOLEDO, C. A. M.; BENDATI, M. M.; FETZER, L. O.; TEIXEIRA, C. P.; EIRAS A. E. Meteorological variables and mosquito monitoring are good predictors for infestation trends of Aedes aegypti, the vector of dengue, chikungunya and Zika. **Parasites & Vectors**, v. 10, n. 78, p. 1-11, 2017.
- OLIVEIRA, A. G.; ROSEGHINI, W. F. F. A influência das temperaturas de inverno na efetividade dos ovos de Aedes aegypti em Curitiba, Paraná. In: MURARA, P. G. S.; ALEIXO, N. C. R. (Orgs.). **Clima e Saúde no Brasil**. Ed. 1. Jundiaí: Paco Editorial. 2020.
- RIZZI, C. B.; RIZZI, R. L.; PRAMIU, P. V.; HOFFMANN, E.; CODEÇO, C. T. Considerações sobre a dengue e variáveis de importância à infestação por Aedes aegypti. **Hygeia**, v. 13, n. 24, p. 24-40, jun. 2017.
- ROSEGHINI, W. F. F. **Clima urbano e dengue no centro-sudoeste do Brasil**. 2013. pp. 153. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- SILVA, L. S. B.; CARDOSO, R. T. N.; FERNANDES, J. L. A.; SILVA C. A.; EIRAS, A. E. Modelo entomológico determinístico sob efeito de pluviosidade para o Aedes aegypti e o Aedes albopictus. **Tend. Mat. Apl. Comput.**, v. 19, n. 2, p. 289-303, 2018.
- SOUZA, A.; ABREU, M. C.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. Impact of climate change on human infectious diseases: dengue. **Braz. arch. biol. technol.**, v. 64, p. 1-14, 2021.
- VIANA, D. V.; IGNOTTI, E. A ocorrência da dengue e variações meteorológicas no Brasil: revisão sistemática. **Rev. bras. epidemiol.**, v. 16, n. 2, p. 240-256, 2013.